

MISE EN PLACE D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE SIMULANT LA CHUTE DE PARTICULES CARBONÉES EN MER

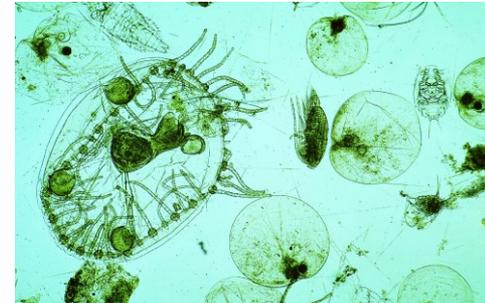
CAROLINE COMBY

LICENCE 3^{ÈME} ANNÉE 2017-2018

PROJET EN MODÉLISATION

Responsables encadrants : Andrea Doglioli – Stéphanie Barrillon

- Emissions de CO₂
- Océans : puits de carbone atmosphérique
- Manque de données mesurées *in situ*
- Projet d'expérience en mer Méditerranée utilisant des billes carbonées



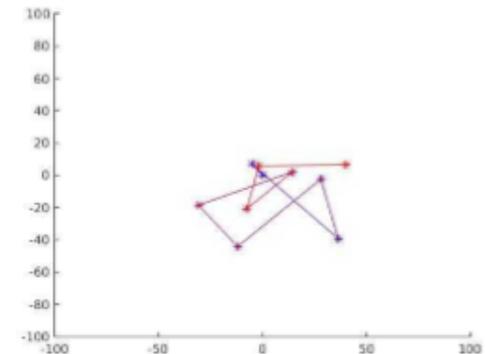
Nécessité de mettre au point un outil numérique simulant la dispersion des billes carbonées en mer

Suivi Lagrangien de particules

« Technique consistant à suivre **dans le temps** les particules fluides **le long de leur trajectoire** »

Idée appliquée : Résolution de l'équation de conservation par simulation numérique des déplacements des particules

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \longleftrightarrow$$



Les vitesses sont aléatoires, comme dans le mouvement Brownien

« Random Walks »

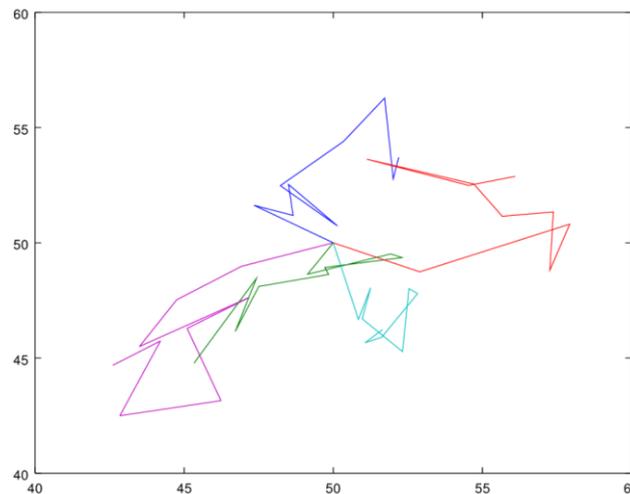
Génération d'une succession de **nombre pseudo-aléatoires** représentant les déplacements

Fonctions
préprogrammées
sur MatLab :
rand, *randn* ...

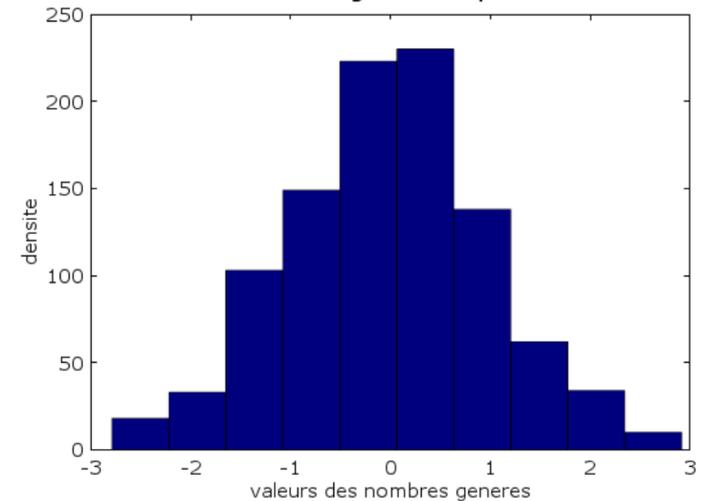


Fonction
contrôlée
statistiquement :
loi Normale

Déplacements de 5 particules générée par la
fonction *randn*



Distribution des valeurs generées par la fonction *randn*



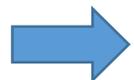
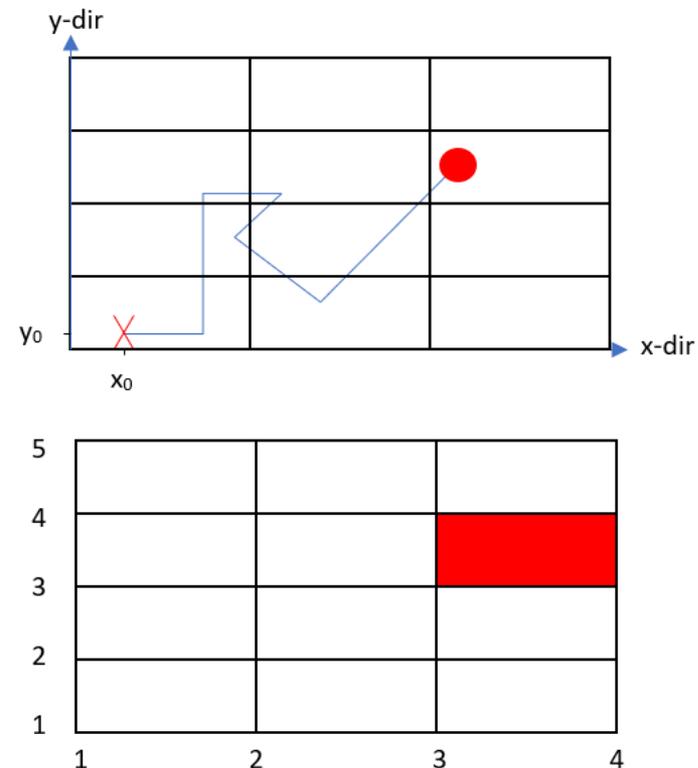
Utilisation de ces nombres aléatoires pour modéliser les fluctuations dans le déplacement des particules

Maille de grille

Résolution de l'équation de conservation par simulation numérique du déplacement

Grille découpant le plan d'étude

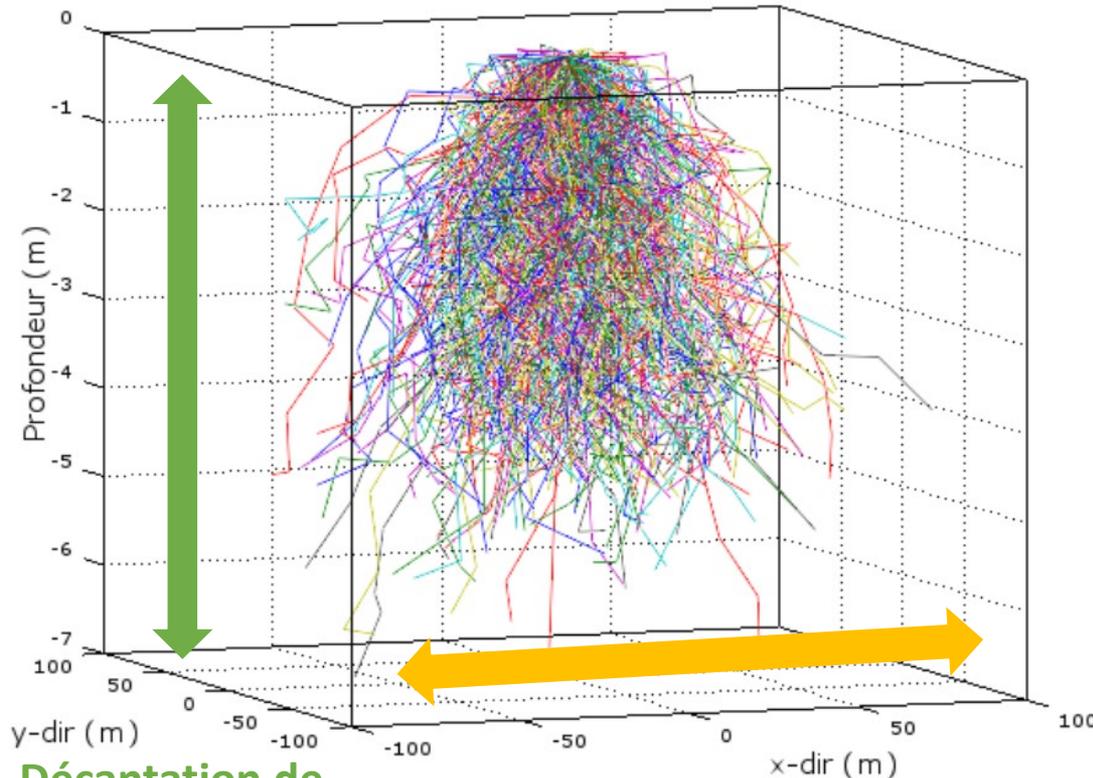
On associe **une valeur** à chaque maille : **le nombre de particules présentes** dans la maille.



Représentation de l'évolution temporelle des concentrations

Influence des coefficients de diffusion

Predominance du coefficient de diffusion horizontale



Décantation de
l'ordre de 10 m

Dispersion d'environ 200 m

Conditions expérimentales :

Coordonnées de largage :
x-dir = 0 m ; y-dir = 0 m
profondeur = 0 m

Coefficient de diffusion horizontale

$$K_H = 10^{-3}$$

>>

Coefficient de diffusion verticale

$$K_V = 10^{-6}$$

Vitesse de stokes = $-4.3656 \times 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$

Etude pour 500 particules sur 10 jours

En conditions réelles :

- la diffusion horizontale prédomine.
- la diffusion verticale est due à la stratification des masses d'eaux

Influence des coefficients de diffusion

Conditions expérimentales :

Coordonnées de largage :
x-dir = 0 m ; y-dir = 0 m
profondeur = 0 m

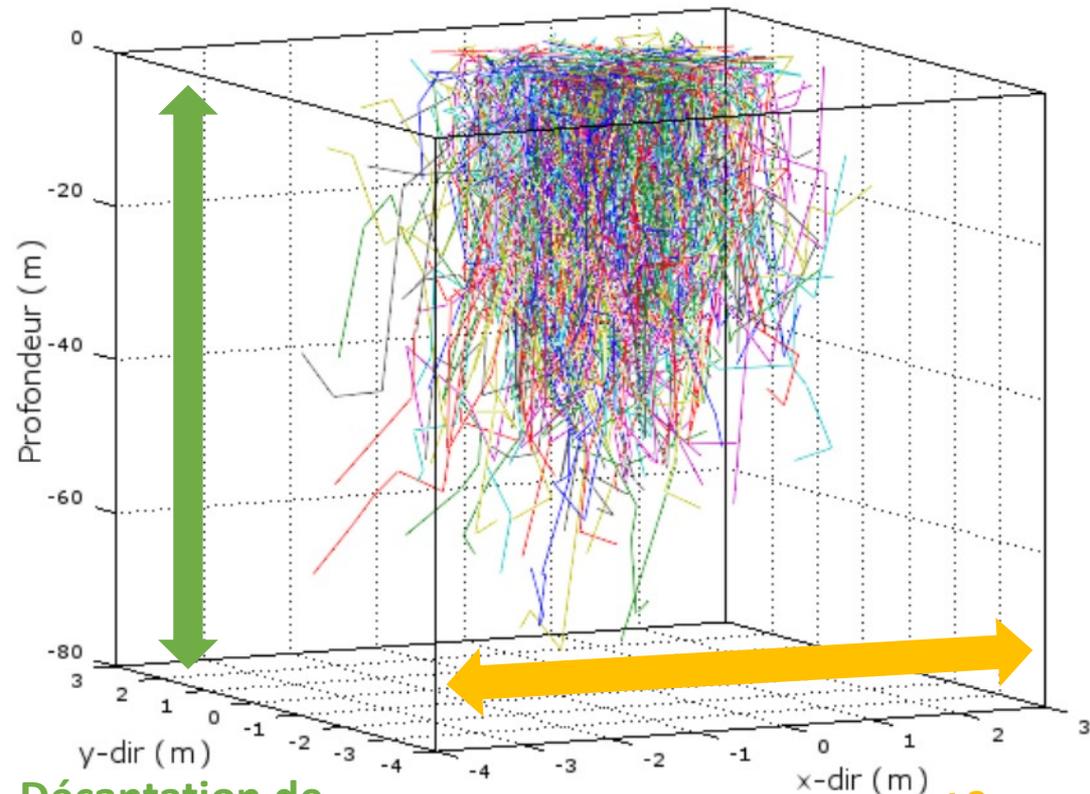
Coefficient de diffusion horizontale
 $K_H = 10^{-6}$
 \ll

Coefficient de diffusion verticale
 $K_V = 10^{-3}$

Vitesse de stokes = $-4.3656 \times 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$

Etude pour 500 particules sur 10 jours

Predominance du coefficient de diffusion verticale



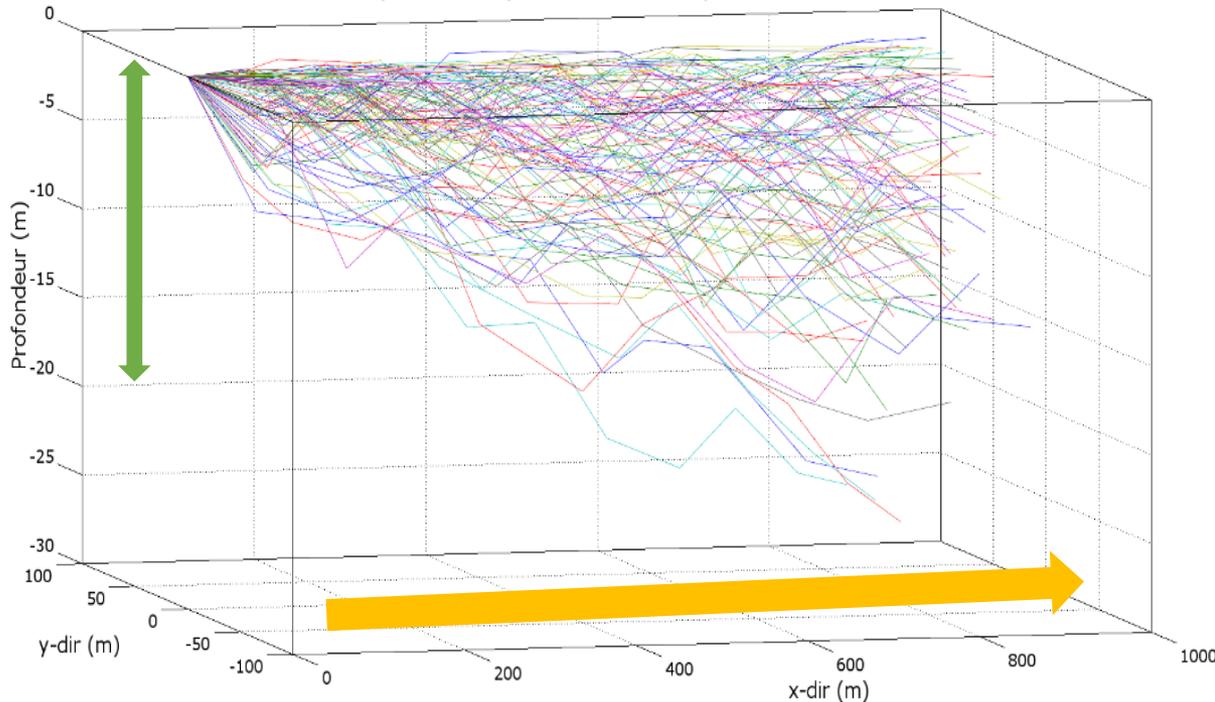
Décantation de
l'ordre de 100 m

Dispersion d'environ 10 m

➔ Impact du coefficient de diffusion verticale = influence majoritaire dans le processus de décantation des particules

Influence des courants

Chute de $p = 100$ particules en présence de courant



Chute d'environ
20 m

Déplacement : 1 km

Conditions expérimentales :

Coordonnées de largage :
x-dir = 0 m ; y-dir = 0 m
profondeur = 0 m

Coefficient de diffusion
horizontale $K_H = 10^{-3}$

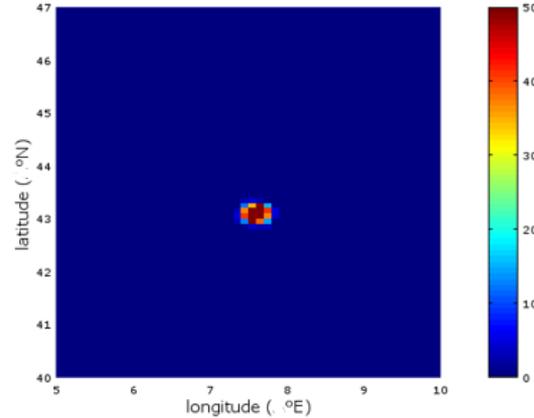
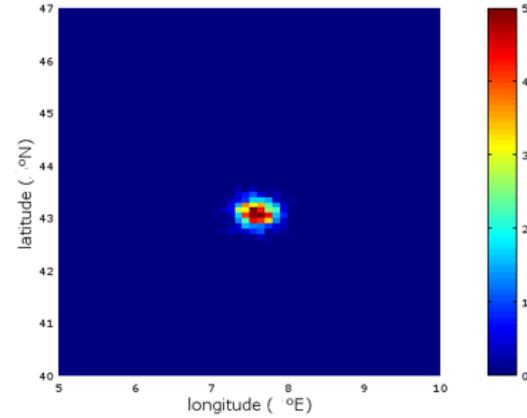
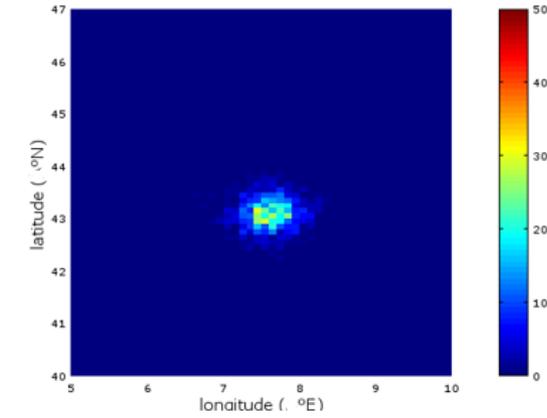
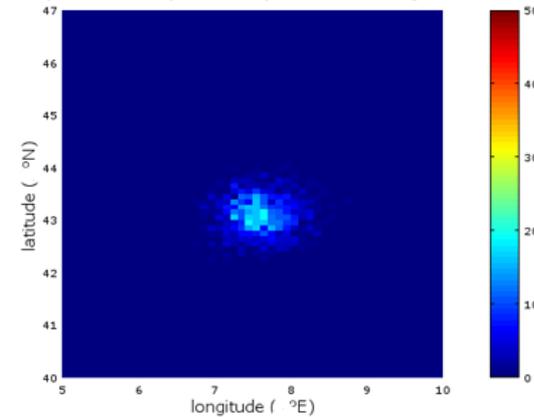
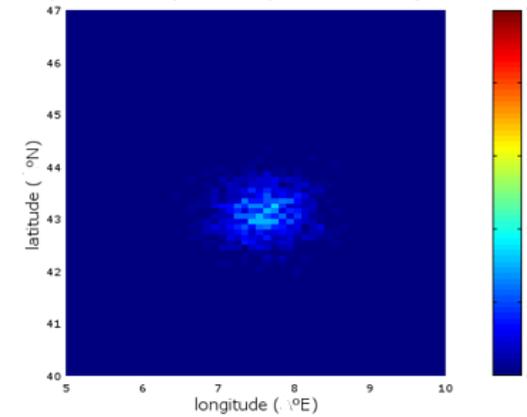
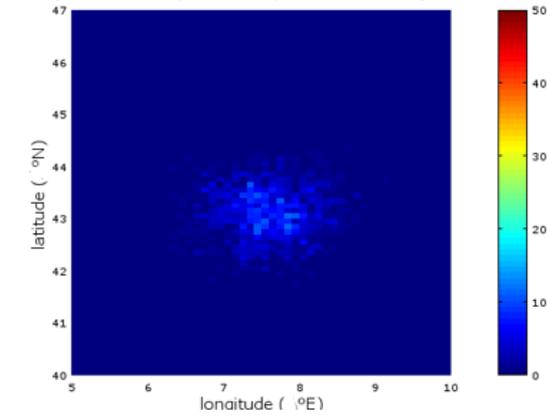
Coefficient de diffusion
verticale $K_V = 10^{-4}$

Courant $U = 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$
selon $x > 0$

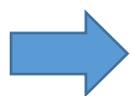
Etude pour 100 particules sur
10 jours

➡ Impact des courants = influence majoritaire dans le transport des particules

Évolution temporelle de la dispersion – Absence de courant

Dispersion de $p=1000$ particules au jour 2Dispersion de $p=1000$ particules au jour 5Dispersion de $p=1000$ particules au jour 10Vue de
dessusCoefficient
de diffusion
HorizontaleDispersion de $p=1000$ particules au jour 15Dispersion de $p=1000$ particules au jour 20Dispersion de $p=1000$ particules au jour 30

$$K_H = 10^{-3}$$

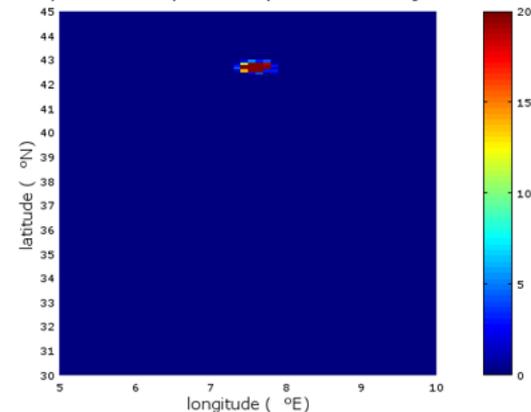


Dispersion homogène autour de la source
Simulation applicable en conditions réelles

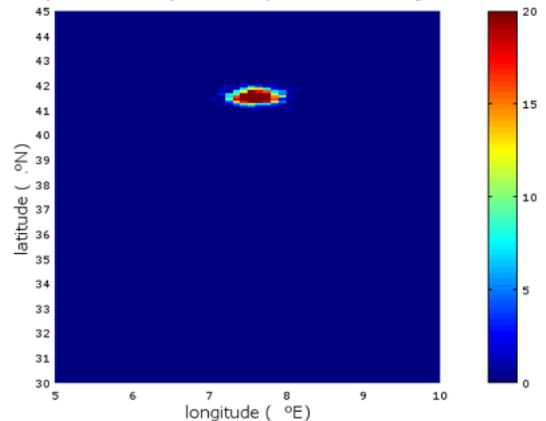
Évolution temporelle de la dispersion – Présence de courant

$U = -5 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ (selon la direction Nord)

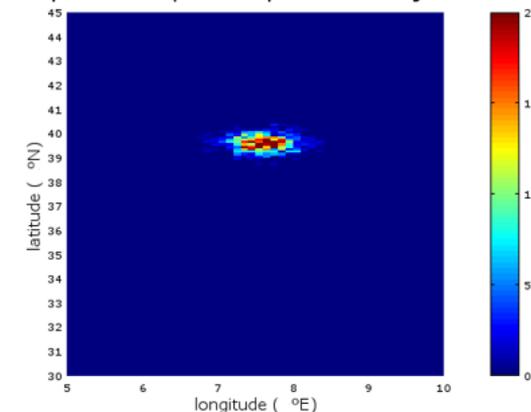
Dispersion de $p=1000$ particules au jour 2



Dispersion de $p=1000$ particules au jour 5



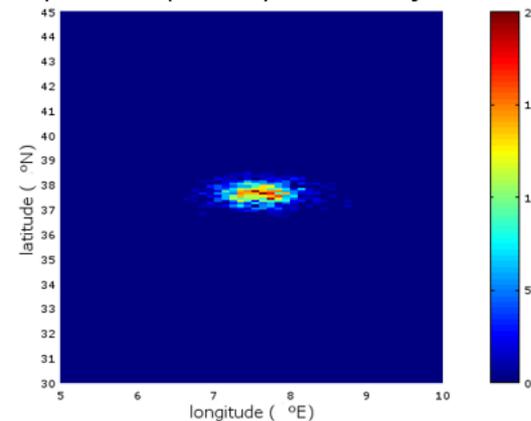
Dispersion de $p=1000$ particules au jour 10



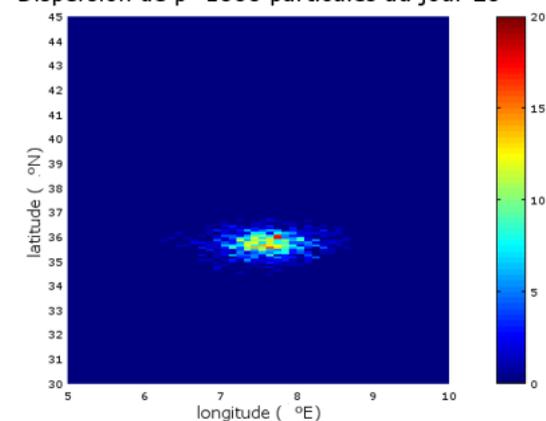
Vue de
dessus

Coefficient
de diffusion
Horizontale

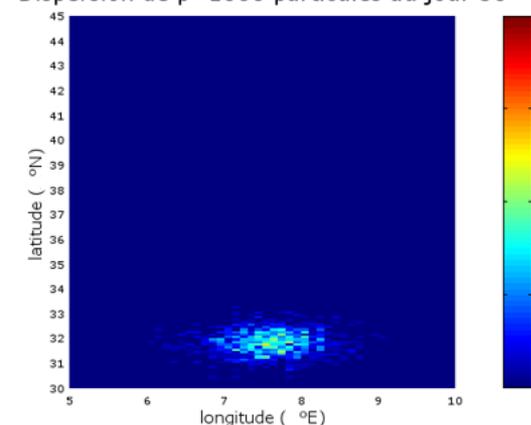
Dispersion de $p=1000$ particules au jour 15



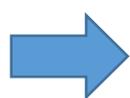
Dispersion de $p=1000$ particules au jour 20



Dispersion de $p=1000$ particules au jour 30



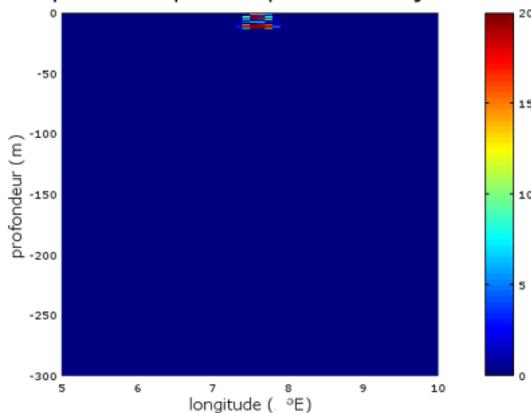
$K_H = 10^{-3}$



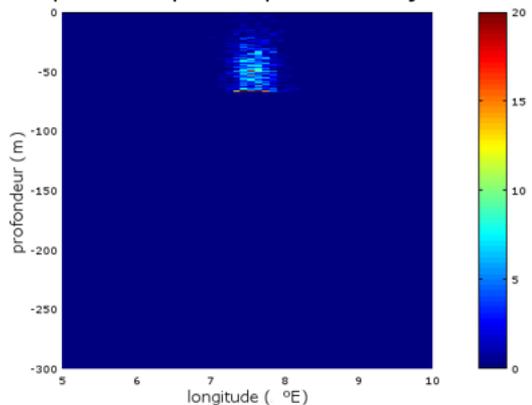
Utilisation de données satellite de courant : modélisation
des flux réels de particules.

Évolution temporelle de la dispersion – Coupe verticale

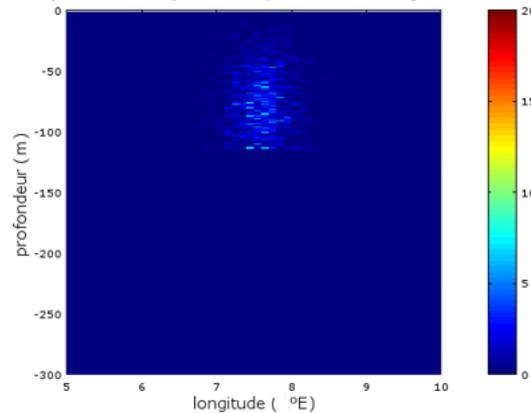
Dispersion de p=1000 particules au jour 2



Dispersion de p=1000 particules au jour 5



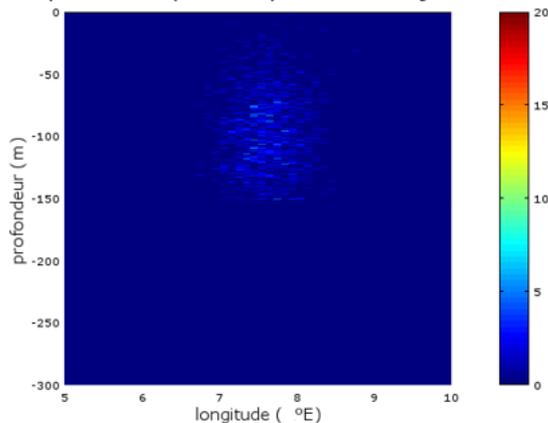
Dispersion de p=1000 particules au jour 10



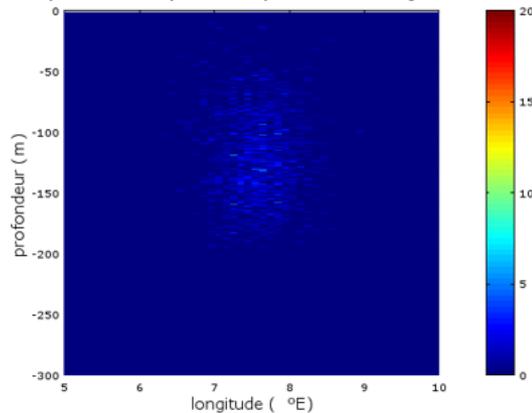
Coefficient
de diffusion
horizontale

$$K_H = 10^{-4}$$

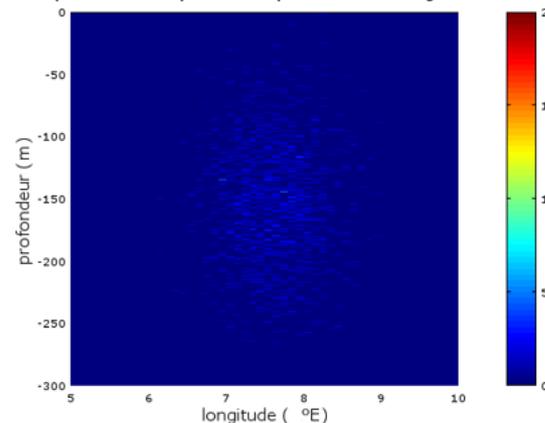
Dispersion de p=1000 particules au jour 15



Dispersion de p=1000 particules au jour 20

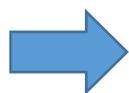


Dispersion de p=1000 particules au jour 30



Coefficient
de diffusion
verticale

$$K_V = 10^{-4}$$



Décantation des billes carbonées larguées en surface
Visualisation du « puit de carbone »

- Modèle numérique validé
- Étude à poursuivre : utilisation de données réelles (courants et coefficients de diffusion)
- Difficultés rencontrées :
 - ✓ fonctionnement des boucles itératives
 - ✓ résolution spatiale des *pcolor*
- Bilan personnel



MERCI POUR VOTRE ATTENTION